

# СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ВНУТРЕННЕОКИСЛЕННЫХ СТРУЖКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ

*Бермешев Т.В., Сапарова А.С.*

*Научный руководитель – магистр техники и технологии, ассистент  
Сапарова А.С.*

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск  
jiffy@inbox.ru

Непрерывное развитие техники и технологии в промышленности требует постоянного создания все более новых материалов с заданным уровнем свойств. Так же немаловажным фактором является и развитие ресурсосберегающих технологий. Одним из важнейших направлений в решении этих задач, является переработка отходов производства, в частности – создание новых стружковых материалов на основе меди. Использование технологии переработки стружки без переплавки позволяет исключить безвозвратные потери металла в угар, а так же газопылевые выбросы, идущие в атмосферу. Горячее прессование позволяет эффективно перерабатывать такие материалы как стружка, опилки, гранулы или порошки, это объясняется тем, что при деформации реализуется такая благоприятная схема напряженного состояния, как всестороннее сжатие, она практически исключает вероятность появления внутренних дефектов, а так же устраняет ранее существовавшие несплошности в материале.

В данной работе была использована стружка из сплава меди с добавками алюминия и титана (0,12–0,25% Al, 0,03 - 0,1%Ti).

Технологическая схема процесса получения проволоки представлена следующей последовательностью: исходная стружка из сплава меди с добавкой 0,12–0,25% Al, 0,03–0,1%Ti, горячее прессование (брикетирование), нагрев под экструзию, горячая экструзия, холодное волочение на цепном волочильном стане без проведения промежуточных отжигов с получением проволоки различного диаметра, при относительном обжатии за проход 15–20%.

Перед брикетированием были проведены исследования по способности окисления стружки из данного материала. Для этого проводился отжиг при температурах и с различным временем выдержки. Результаты отжига показали, что оптимальный режим нагрева стружки перед брикетированием составляет: 400–450 °С, при выдержке 1 час.

На рисунке 1 предоставлены фотографии микроструктур продольного и поперечного сечений прутков диаметром 6мм. Структура продольного сечения представляет собой вытянутые стружки вдоль направления приложенной деформации. В стружках наблюдаются участки рекристаллизации, мелкие зёрна расположены по краям стружек.



поперечное сечение



продольное сечение

Рисунок 1 - Микроструктура прутка диаметром 6 мм, х 500

На рисунке 2 предоставлены фотографии микроструктур продольного и поперечного сечений проволоки диаметром 1мм. Они показали, что удалось получить сплошную монолитную проволоку. На продольном сечении структура получилась строчечная. На поперечном сечении в микроструктуре материала несплошностей не наблюдается.



поперечное сечение



продольное сечение

Рисунок 2 - Микроструктура проволоки диаметром 1 мм, х 500

Результаты растровой – электронной микроскопии показали, что в материале происходит выделение мелкодисперсных частиц – оксидов алюминия и титана и интерметаллидов  $\text{Cu}_4\text{Ti}$ ,  $\text{Cu}_2\text{TiAl}$ , это можно связать с высоким нагревом до  $930^\circ\text{C} \pm 30^\circ\text{C}$  при горячей экструзии. Выделившиеся фазы упрочняют данный материал.

В таблице 1 представлены результаты измерения твердости и испытаний на разрыв, показывающие, что с уменьшением диаметра образца, т.е. с увеличением степени деформации и степени обжатия, твердость и прочность увеличиваются. Максимальные их значения принимает проволока с наименьшим диаметром - 1мм. Для повышения характеристик пластичности рекомендуется проводить отжиг для снятия напряжений, т.к. с уменьшением диаметра прочность возрастает за счет наклепа, что повышает прочность и снижает пластичность.

Таблица 1 – Средние значения твердости прутков и проволоки

Диаметр	Среднее значение твердости		Диаметр проволоки	$\sigma_{0.2}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %
	Продольное	Поперечное				
1	131,33	151	1,0	474	495	–
3,7	98,3	141,33	2,0	392	479	–
6	62,97	55,6	3,70	407	421	2,0
8	58,07	52,53	4,94	326	328	6,2

Полученные значения, представленные в таблице 2 показали, что с уменьшением диаметра образца, т.е. с увеличением степени деформации, плотность растет, а пористость и удельное электросопротивление уменьшается, возможно это связано с тем, что при уменьшении диаметра проволоки материал становится более плотным, т.к. в нём меньше препятствий для течения тока. В образцах большего диаметра течение тока затрудняется препятствиями в виде границ стружек, что приводит к увеличению удельного электросопротивления.

Таблица 2 – Значения плотности, пористости и удельного электросопротивления полученной проволоки

Диаметр образца, d, мм	Экспериментальная плотность, $\rho_{\text{эксп.}}$ , г/мм <sup>3</sup>	Теоретическая плотность, $\rho_{\text{теор.}}$ , г/мм <sup>3</sup>	Пористость, %	Удельное электросопротивление, $\rho$ , Ом · мм <sup>2</sup> / м
1,00	8,86	8,903	0,5	0,0231
1,25	8,77	8,903	1,5	0,0272
1,70	8,66	8,903	3	0,0277
2,00	8,6	8,903	3	0,0282
3,70	8,53	8,903	4	0,0292
4,97	8,53	8,903	4	0,0295

В результате проведенных экспериментов показана возможность получения методом обработки давлением прутков и проволоки различных диаметров из медной стружки с добавками титана и алюминия. Конечная структура материала представляет собой, как показал металлографический анализ, монолитную медную матрицу, что подтверждается низкой пористостью 0,5 – 4%. Медная матрица содержит в себе мелкодисперсные частицы оксидов алюминия, титана и интерметаллиды. Полученные композиционные материалы имеют сравнительно низкую пористость, высокую твердость, прочность и низкую пластичность в деформированном состоянии. Результаты измерения удельного электросопротивления показывают возможность использования полученного материала при изготовлении электродов для сварки.